

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

KRISTYAN MARTINS

ROQUE MARTINS DUARTE JUNIOR

VINICIUS DONEY GRANEMANN

**E-FARM E E-SOLAR - FAZENDA SOLAR E SOFTWARE DE
GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO EM TEMPO REAL SISTEMA
FOTOVOLTAICO**

CURITIBA

2019

KRISTYAN MARTINS

ROQUE MARTINS DUARTE JUNIOR

VINICIUS DIONEY GRANEMANN

**E-FARM E E-SOLAR - FAZENDA SOLAR E SOFTWARE DE GERENCIAMENTO DE
MANUTENÇÃO EM TEMPO REAL SISTEMA FOTOVOLTAICO**

Projeto apresentado ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Christian Scapulatempo Strobel.

CURITIBA

2019

RESUMO

Uma nova modalidade de geração de energia solar que tem se difundido no Brasil é a fazenda solar. Atualmente, este modelo tem se destacado principalmente em Minas Gerais, com a tendência de migrar para outros estados também. As discussões das melhorias na legislação que rege as resoluções da geração distribuída tiveram grande auxílio na validação de projetos das fazendas solares. Ainda, a aprovação da permissão de geração compartilhada mostra o surgimento de novas tendências que possibilitam aos novos empreendedores do ramo de energias renováveis ampliarem o cenário de geração de energia com preços mais atrativos no valor cobrado pelo consumo de energia elétrica. Foi apresentado o modelo de negócio da fazenda solar e-Farm, que possui 38 cotas de potência para serem alugadas, num valor abaixo do cobrado atualmente pela concessionária de energia local. Com base no que foi discutido, a e-Farm se mostrou viável tanto do ponto de vista técnico, econômico e sócio-ambiental. Espera-se que estes tipos de empreendimentos que ainda estão pouco difundidos se tornem um nicho de mercado a ser explorado, auxiliando as concessionárias no atendimento da demanda energética, e também para o cliente final que pode pagar menos na sua conta de energia. Além disso, reduzindo a emissão de dióxido de carbono.

Palavras-chave: Energia Solar. Modelo de negócio. Energias Renováveis. Painéis fotovoltaicos. Fazenda solar.

ABSTRACT

A new modality of generation of solar energy that has been spreading in Brazil is the solar farm. Currently, this model has stood out mainly in Minas Gerais, with the tendency to migrate to other states as well. Discussions on improvements in legislation governing distributed generation resolutions were of great help in validating projects on solar farms. In addition, the approval of the shared generation permit shows the emergence of new trends that enable new entrepreneurs in the renewable energy sector to expand the scenario of energy generation with more attractive prices in the amount charged for the consumption of electricity. The business model of the e-Farm solar farm was presented, which has 38 power shares to be rented, in a value below that currently charged by the local energy concessionaire. Based on what was discussed, e-Farm proved to be viable both from a technical, economic and socio-environmental point of view. It is expected that these types of ventures that are not yet widespread will become a market niche to be explored, assisting utilities in meeting energy demand, and also for the end customer who can pay less on their energy bill. In addition, reducing the emission of carbon dioxide.

Keywords: Solar energy. Business model. Renewable energy. Photovoltaic panels. Solar farm.

Sumário

1. Introdução	4
1.1. Definição de fazenda solar	5
2. Objetivos	6
3. Legislação da geração fotovoltaica	7
3.1. Resoluções normativas da ANEEL	7
3.2. Conexão à rede elétrica da COPEL	8
3.3. Legislação Ambiental.....	8
4. Fazenda Solar: e-Farm.....	9
4.1. Localização Geográfica	9
4.2. Design da e-Farm.....	10
4.3. Modelo de Negócio	12
6. Avaliação Sócio-Ambiental	16
7. Conclusão	17
Referências bibliográficas	18
ANEXO I - FORMULÁRIO DE IDENTIFICAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA.	19
ANEXO II – DIAGRAMA UNIFILAR DE ACESSO A MICROGERAÇÃO 13,8 kV – COPEL.	20
ANEXO III – DIAGRAMA UNIFILAR DE ACESSO A MICROGERAÇÃO 34,5 kV – COPEL.	21
ANEXO IV – SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DA e-FARM NO PV*Sol.	22
ANEXO V – MODELO CANVAS DE IDEIAÇÃO.	26

1. Introdução

O aumento do consumo global de energia ligado à preocupação do governo com o uso excessivo de combustíveis fósseis, instigam a necessidade de buscar novas alternativas energéticas. Há uma tendência para a inserção de novas fontes de energias renováveis na matriz elétrica mundial, utilizando o potencial local de cada região através da energia eólica, hidráulica, solar, hidrogênio e biomassa. No Brasil a energia solar é umas das principais alternativas atualmente, devido a sua localização geográfica e irradiação solar, o que favorece um elevado potencial de geração de energia. Além disso, pode ser considerada pouco poluente entre fontes primárias, além de ser inesgotável.

A matriz elétrica brasileira se concentra prioritariamente em fontes de centrais hidroelétricas e termoeletricas. Entretanto, este cenário tem mudado devido ao aumento do fomento governamental e da inserção de energia solar fotovoltaica na matriz elétrica, tanto em pequena (residencial) como em grande escala (industrial). De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) da Empresa de Pesquisa Energética (EPE); entre 2017 e 2018, houve um aumento na participação da geração distribuída por parte de micro e minigeração, sendo a energia solar responsável por 63,5% do total.

De modo semelhante, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada mostrou que entre o período de 2016 a 2018, a capacidade instalada saltou de 0,1 para 1,4% na matriz energética nacional. Isso demonstra que durante o período observado, 41.000 novas usinas de energia solar foram instaladas (IPEA, 2019), o que totalizou 1.798 MW instalados. Além disso, o plano decenal 2024 realizado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) estima que a energia solar será correspondente a 4% da matriz elétrica, sendo responsável por uma geração de 7.000 MW (MME, 2019).

Uma nova modalidade de geração de energia solar que tem se difundido no Brasil é a fazenda solar. Atualmente, este modelo tem se destacado principalmente em Minas Gerais, com a tendência de migrar para outros estados também.

1.1. Definição de fazenda solar

Fazenda solar trata-se de uma usina solar fotovoltaica, utiliza-se de uma área ampla e é preferencialmente instalada em uma região com condições ideais para a geração de energia fotovoltaica. A usina solar é conectada à rede de energia da concessionária local e passa a gerar energia elétrica que pode ser aproveitada por vários consumidores. A Figura 1 demonstra visão aérea de uma instalação de uma fazenda solar.



Figura 1: Vista aérea de uma fazenda solar

A usina solar é dividida em cotas de potência utilizando o modelo de clube de energia, de forma que os interessados possam alugar as cotas com a potência que seja equivalente ao seu consumo energético mensal, e desta forma abate no valor de sua conta de energia.

A figura 2 mostra o funcionamento resumido de um sistema solar que é semelhante ao funcionamento de uma usina solar. Os módulos fotovoltaicos (painel) da fazenda geram energia elétrica em corrente contínua (CC), que é convertida para corrente alternada (CA) através do inversor de frequência. Após passar pelo inversor a energia é injetada na rede da Companhia Paranaense de Energia Elétrica - COPEL. Essa energia entra na rede na forma de crédito que será compensada na fatura do consumidor conforme as cotas contratadas.

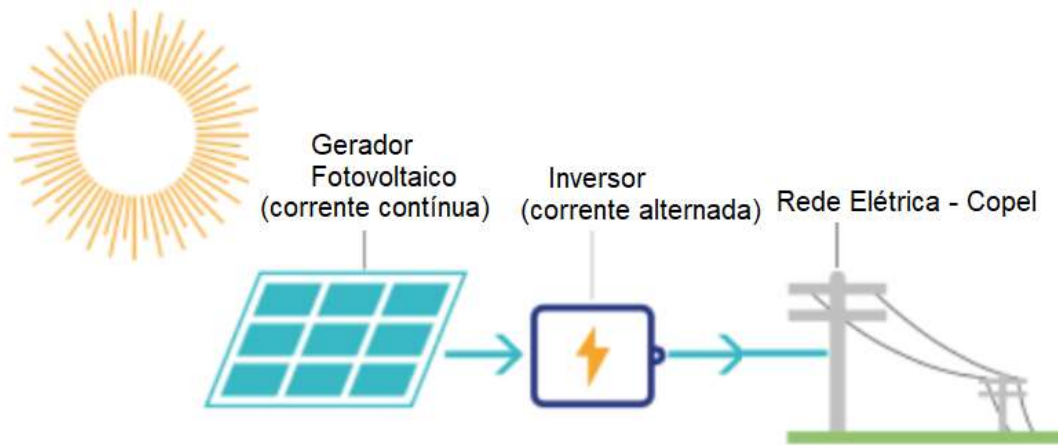


Figura 2: Funcionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição de energia.

Esse novo modelo pretende fornecer energia limpa e renovável com um custo reduzido e fixo aos consumidores finais, desatrelando a dependência das variações do preço da energia em relação as bandeiras tarifárias. Além disso, este modelo favorece os consumidores que desejam usufruir de energia solar fotovoltaica, porém não possuem condições de fazer um aporte inicial alto, não possuem espaço disponível em seu imóvel ou moram em um local com condição desfavorável.

Nesse contexto, esse trabalho pretende avaliar a viabilidade técnica, econômica e socioambiental de implantação de uma usina solar fotovoltaica no estado do Paraná, para alocação de cotas de energia.

2. Objetivos

Será realizado a análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da fazenda solar e-Farm que será instalada na área rural da região de Palmas (PR).

A e-Farm terá capacidade instalada inicial de 110,5 kWp de potência sendo dividida em 38 cotas de 2,90 kWp, que serão disponibilizadas para alugar. Cada cota terá valor inicial de R\$ 235,00, que é em torno de 15% inferior ao preço que seria pago para a concessionária local considerando bandeira verde atual (sem custo adicional). O valor do aluguel será reajustado anualmente com base na inflação.

Destaca-se que a usina fotovoltaica será interligada à rede (on-grid) da Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), diante desta informação conforme a legislação, só poderá atender os consumidores que estão sob a área de concessão da COPEL.

Em 24 de novembro de 2015 um novo marco fora alcançado para a geração distribuída, com a entrada em vigor da resolução normativa 687 em 01 de março de 2016, a resolução 482 da ANEEL, sofre grande atualização impactando de forma direta o mercado de energias renováveis criando novos nichos de consumidores e possibilidades de negócio.

3. Legislação da geração fotovoltaica

Esse tópico discorre sobre as legislações que estabelecem os padrões para uniformização e adoção de procedimentos requeridos na instalação fotovoltaica, observando as exigências técnicas e de segurança recomendadas pelos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) e pelas Resoluções Normativas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Além disso, apresenta-se também a Norma Técnica da COPEL (NTC) 905200 que traz as condições de acesso de micro e minigeração distribuída no estado do Paraná.

3.1. Resoluções normativas da ANEEL

Com o intuito de melhorar o cenário de fornecimento de energia e contribuir para alívio do sistema elétrico, os representantes das diversas concessionárias juntamente com a ANEEL elaboraram as resoluções 482 e 687.

A Resolução Normativa 482 de 17 de abril de 2012 foi o marco regulatório que permitiu os consumidores realizarem a injeção da energia gerada na rede elétrica, tornando-os assim geradores de sua própria energia. Desta forma, todo consumidor ativamente cadastrado no Ministério da Fazenda, por um CPF (Cadastro de Pessoa Física) ou um CNPJ (Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica), conquistaram o direito de conectar seus geradores à rede de distribuição da concessionária local.

Uma nova conquista é alcançada para a geração distribuída, com a entrada em vigor da resolução normativa 687, a qual alterou e atualizou a resolução 482 da ANEEL, impactando de forma direta o mercado de energias renováveis criando novos nichos de consumidores e possibilidades de negócio.

Das principais alterações destacam-se: o aumento no prazo para uso dos créditos energéticos, de 36 para 60 meses e a potência limite micro e minigeração distribuída, sendo microgeração sistema com potência inferior ou igual a 75 kW e

minigeração sistema de 75 kW a 3 MWp para fontes hídricas, e até 5 MWp para demais fontes renováveis ou energia qualificada.

A RN 687 traz também três novas modalidades onde unidades consumidoras que fazem uso da geração distribuída podem ser classificadas, empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada e autoconsumo remoto. A e-Farm tem seu modelo baseado principalmente na geração compartilhada onde consumidores de CPF ou CNPJ distintos, abastecidos pela mesma concessionária distribuidora, associados por meio de cooperativa ou consórcio, onde a unidade micro ou minigeradora fica em local diferente das unidades consumidoras compensatórias.

3.2. Conexão à rede elétrica da COPEL

A norma que determina a conexão à rede da COPEL é a NTC 905200. O primeiro passo para o adquirente verificar se pode ter acesso à rede da concessionária é realizar uma solicitação na COPEL por meio do formulário, o qual está apresentado no ANEXO I. Nesta etapa já será solicitado todos os documentos que são necessários para a requisição de acesso à rede.

Considerando a potência da e-Farm (110 kW), a classificação do tipo de conexão do acesso na rede elétrica se encaixa na faixa de geração de 76 até 300 kW em média tensão, podendo esta, ser de 13,8 ou 34,5 kV, a depender da tensão da rede local. A conexão deverá ser trifásica sendo necessário por relés de proteção e transformador exclusivo do acessante. Para esta faixa de potência é admitido o uso de disjuntor de baixa tensão. As figuras indicadas no Anexo II mostram como deve ser realizada o acesso a rede da concessionária. Além disso, a rede deve estar protegida e oferecer possibilidades de operação por um religador, cuja especificação é definida pelas normas da COPEL. Outros requisitos mais específicos podem ser verificados na norma NTC 905200.

3.3. Legislação Ambiental

A portaria Nº 19, de 6 de fevereiro de 2017, do Instituto Ambiental do Paraná (IAP) estabelece no artigo 5º, os procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte solar em superfície

terrestre. De acordo com esta portaria, a necessidade de licenciamento seguirá regras que estão dispostas na Tabela 1.

Conforme destacado em vermelho na Tabela 1, sistemas que se enquadram em minigeração distribuída (< 5 MW) tem como maior exigência o memorial descritivo para obter o licenciamento ambiental. Já sistemas com potência menor de 1 MW, caso este em que o sistema estudado se enquadra, dispensa a necessidade de licenciamento ambiental.

Tabela 1: Licenciamento de acordo com faixa de potência do empreendimento

POTÊNCIA	LICENCIAMENTO	TIPO DE ESTUDO
Acima de 10 MW	LP, LI e LO	EIA/RIMA
De 5 MW a 10 MW	LP, LI e LO	RAS
De 1 MW a 5 MW	Autorização Ambiental ou Dispensa de Licenciamento Ambiental	Memorial descritivo
Abaixo de 1 MW	Dispensa de Licenciamento Ambiental/Inexigibilidade de Licenciamento Ambiental	Dispensado

Fonte: IAP, 2017.

4. Fazenda Solar: e-Farm

A e-Farm segue o modelo de uma fazenda solar tradicional como explicado na seção 1.1, exceto que será implantada numa propriedade rural improdutiva que já se encontra próximo a uma subestação da COPEL.

4.1. Localização Geográfica

A localização escolhida para a implantação da e-Farm foi uma propriedade rural na cidade de Palmas – PR, situada na divisa com Santa Catarina. A propriedade de implantação possui área improdutiva de 12 hectares com uma localização favorável para a instalação do sistema solar, conforme Figura 3. Esta área é considerada improdutiva para a agricultura e pecuária devido ao solo rochoso da região.

Através da Figura 3 observa-se toda a área improdutiva da propriedade que está marcada em rosa. Por ter uma vasta área improdutiva disponível, há a possibilidade de expandir a usina caso seja necessário. Além disso, nota-se que próximo a área demarcada está localizada a subestação de elevação de tensão da

COPEL. Esta subestação tem potência nominal de 240 MW e opera com fator de carregamento de 60%, tendo assim, disponibilidade para receber a potência da e-Farm.

Um dos principais motivos da escolha deste local para implantação da fazenda solar é devido à proximidade com a subestação, pois reduz os custos para interligação do sistema de geração. Ainda assim, ressalta-se que aos arredores da instalação da usina não há nada que possa gerar sombreamento sobre os módulos fotovoltaicos, o que garante a operação a máxima eficiência possível.



Figura 3: Desenho da instalação da e-Farm, com demarcação a área improdutiva em rosa.

Um fato interessante é que esta região já é referência pela produção de energia renovável, devido a presença do Parque Eólico de Palmas.

4.2. Design da e-Farm

O dimensionamento da e-Farm foi realizado através do software PV*Sol, e a melhor disposição dos arranjos dos módulos está detalhado na Figura 4. Serão duas fileiras, uma com 16 e outra com 19 módulos. Apesar de não estar explícito no diagrama serão utilizados dois inversores de frequência, sendo um em cada fileira. Após o inversor (laranja) a energia gerada passa pelo medidor de energia e então é injetada na rede da concessionária. O ANEXO IV apresenta o diagrama unifilar com mais detalhes.

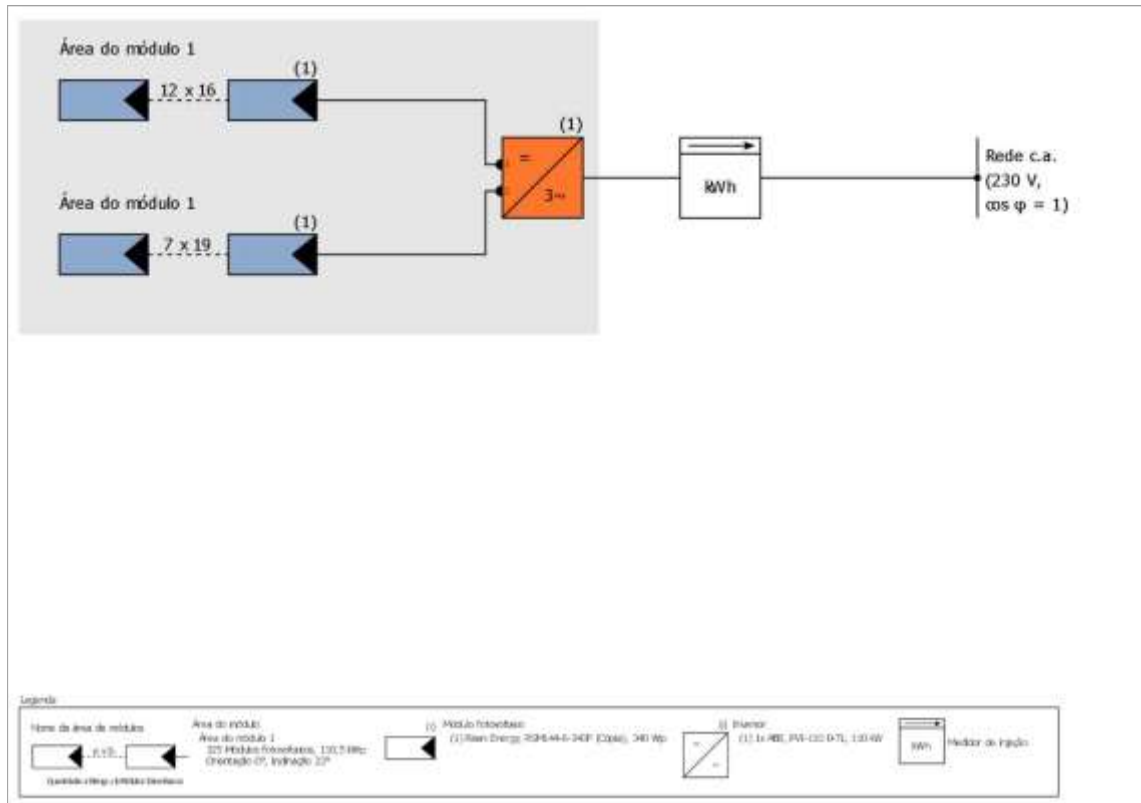


Figura 4: Diagrama unifilar da e-Farm

Também foi realizado um design prévio da implantação da e-Farm, como indicado nas Figura 5 e 6, a imagem com vista superior e lateral do empreendimento, respectivamente.



Figura 5: Vista superior da localização da e-Farm.

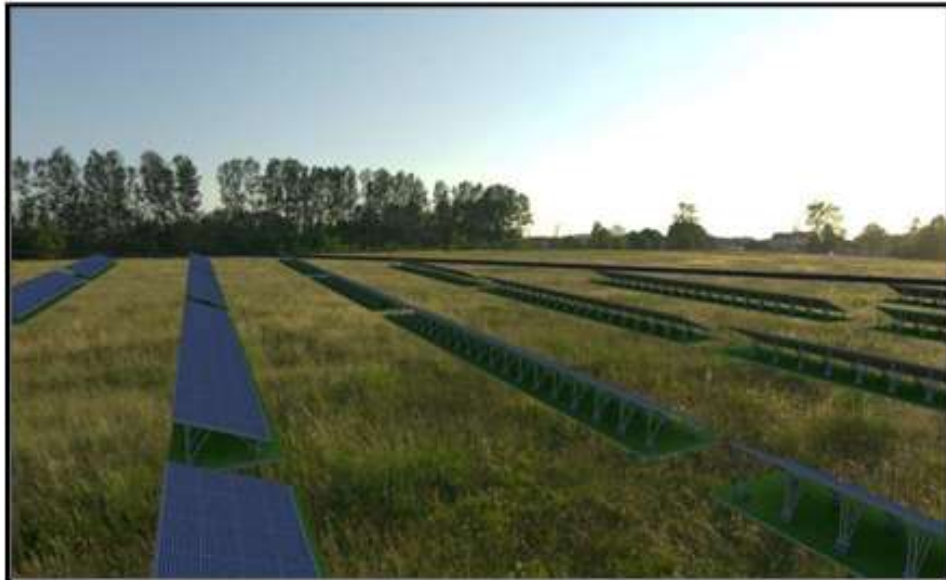


Figura 6: Grande centro de geração de energia fotovoltaica

4.3. Modelo de Negócio

O modelo de negócio possui o sistema de gestão similar à de um clube, sendo que a mensalidade paga pelo associado é referente à cota de potência contratada. Sendo assim, a e-Farm será dividida em 38 cotas de potência para serem alugadas, e então a parte interessada, seja pessoa física ou jurídica, contrata o aluguel da cota referente a sua demanda de energia mensal para ser abatida na sua conta de energia do final do mês.

Neste modelo de negócio, cada cota terá uma potência pré-fixadas de 2,90 kWp, sendo que cada cota terá 9 módulos fotovoltaicos da Risen Solar de 340 Wp. O custo inicial mensal de uma cota de potência será de R\$ 235,00. Este valor será corrigido anualmente com base na inflação.

A potência de 2,90 kWp gera em média 353 kWh/mês, que é equivalente ao consumo médio de uma residência com 4 moradores de classe média baixa. O valor do gerador fotovoltaico para atender o consumo desta residência aproxima-se a R\$ 18.000,00 e necessitaria de uma área de aproximadamente 18m² para sua instalação e isso em alguns casos pode inviabilizar o projeto.

Para contratar as cotas de potência a empresa disponibilizará ao cliente acesso ao site da e-Farm, onde o cliente deverá realizar o pedido para entrar na lista de espera. E então, após análise prévia da demanda do cliente, a e-Farm entrará em contato para posterior assinatura do contrato de locação com a oferta de potência mais adequada.

No contrato, será especificado que o cliente assinará uma procuração fornecendo direito a empresa responsável pela gestão da sua cota contratada, assim, caso o cliente fique inadimplente por até dois meses, a e-Farm solicitará a retirada da unidade consumidora do sistema de compensação da cota de energia na COPEL. Consequentemente solicitará a inclusão da próxima unidade na fila de espera.

No ANEXO V é apresentado o CANVAS do modelo de negócio da e-Farm, indicando resumidamente a ideação do projeto em questão.

5. Investimento

O valor de investimento é de R\$ 320.000,00 (trezentos e vinte mil reais), sendo que neste valor já estão inclusos os custos do projeto elétrico e da construção civil.

O projeto elétrico tem custo de R\$ 27.275,67 e engloba o levantamento de dados da região, diagrama unifilar elétrico e design do sistema, custos contratuais, entre outros. A construção civil terá um custo de R\$ 140.514,30 sendo considerado os valores de terraplanagem, instalação do canteiro de obras, fundação, valetas de interligação e vias de acesso. Para a montagem eletromecânica, a despesa prevista é de R\$ 73.122,91 que corresponderá na montagem das estruturas, módulos e inversores. E por fim, o controle operacional do sistema que engloba a manutenção,

segurança e monitoramento correspondem a R\$ 79.087,12. Os custos definidos acima estão demonstrados na Tabela 2.

Para suprir a potência da energia dimensionada de 110,5 kWp serão utilizados 325 módulos da fabricante Risen Solar, modelo RSM144-6 de 340 Wp. Serão necessários 2 inversores da marca Renovigi, sendo um do modelo RENO-60K de 60 kW e outro RENO-50K interligados na organização de 2 String Box. Para a montagem mecânica serão necessários 325 kits de estrutura de solo, sendo necessário 1.200 metros de cabo de 1,8 kV de 4mm² (positivo) e mais 1.200 metros de mesma especificação (negativo).

A capacidade de geração de energia anual do empreendimento considerando a usina operando com fator de capacidade de 100% será de 4.598 kWh.

Tabela 2: Custos de planejamento da usina 1MW.

PLANEJAMENTO	DESCRIÇÃO	PREÇO FINAL (R\$)
Projeto Elétrico	Levantamento de Dados da Região; Diagrama Unifilar Elétrico; Layout do sistema; Custos Contratuais;	R\$ 27.275,67
Construção Civil	Terraplanagem; Instalação de Canteiro de Obras; Fundação, valetas via de Acesso	R\$ 140.514,30
Montagem Eletromecânicas do Sistema	Montagens das Estruturas; Montagens dos Módulos; Montagens dos Inversores de Frequência;	R\$ 73.122,91
Operação do Sistema	Manutenção; Segurança; Monitoramento;	R\$ 79.087,12
Total		R\$ 320.000,00

Analisando a perspectiva dos gastos em geral observamos que o maior custo do investimento está na parte de construção civil, seguidos pelo sistema de operação, montagem e então projeto elétrico.

A partir dos custos para a implementação do projeto, tendo em vista uma arrecadação do aluguel das cotas no primeiro ano de R\$ 107.160,00 de receita

operacional bruta, sem considerar as despesas mensais de tributos e serviços. Para considerar estas despesas foi feito o Demonstrativo de Resultados (DRE).

Para a viabilização do projeto foi construída a tabela de Demonstrativo de Resultados (DRE) mensal (Tabela 3), que é um relatório que oferece uma síntese econômica completa das atividades operacionais de uma empresa em um determinado período de tempo, demonstrando se há lucro ou prejuízo no médio prazo. Nesta tabela, o campo receita operacional bruta considera o montante arrecado com o aluguel dos 38 lotes. A partir deste valor, desconta-se o imposto por ser uma empresa simples nacional, resultando no campo operacional líquido. Já para obter o lucro operacional bruto deduz-se o custo dos produtos dos serviços prestados do lucro operacional líquido. Também se subtrai os valores administrativos (mão de obra, segura, aluguel) e o custo de vendas (taxa cartão de crédito), o que resulta no lucro operacional líquido antes dos juros e IR – LAJIR. Finalmente, desconta-se do LAJIR a depreciação dos produtos, e obtém-se o lucro antes dos impostos, totalizando o lucro líquido de R\$ 3.838,10.

Tabela 3: Custos de planejamento da e-Farm com 110,5 kWp.

DEMONSTRATIVO DE RESULTADOS (DRE)	
Receita Operacional Bruta	R\$ 8.930,00
Receita Operacional Líquida	R\$ 8.394,20
(-) impostos da empresa (Simples Nacional)	R\$ 535,80
Lucro Operacional Bruto	R\$ 8.144,20
Custo Serviço Prestado	R\$ 250,00
Lucro Operacional	R\$ 4.874,76
(-) Despesas administrativas	2.913,13
(-) Despesas com vendas	R\$ 356,31
Lucro Operacional Líquido antes dos juros, IR, depreciação e amortização (LAJIR)	R\$ 3.838,10
(-) Depreciação	R\$ 1.036,67
Lucro antes dos impostos(LAIR)	R\$ 3.838,10
(-)Participação Minoritária	R\$ 0,00
(-)Res. De equivalência patrimonial	R\$ 0,00
LUCRO LÍQUIDO	R\$ 3.838,10

A partir destes resultados, calcula-se o *payback* descontado de 7 anos com uma taxa de retorno do investimento de 20%. A Figura 7 mostra a evolução dos valores de fluxo de caixa (FC) em azul escuro, e do valor presente líquido (VPL) em azul claro. Pode-se observar que ambos os gráficos crescem continuamente nos 25

anos de vida útil da usina. No sétimo ano, quando o empreendimento estiver pago, o valor presente líquido se torna positivo, alcançando o valor de R\$ 705.493,00, enquanto o fluxo de caixa R\$ 187.643,00.

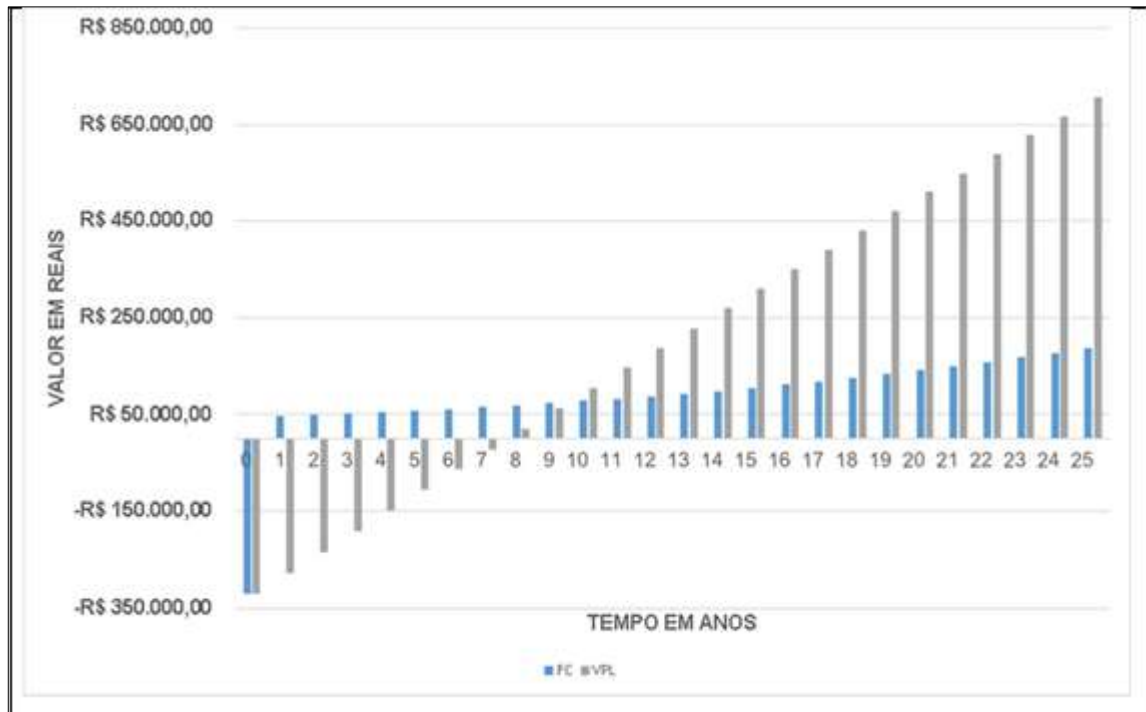


Figura 7: Payback descontato

6. Avaliação Sócio-Ambiental

Do ponto de vista ambiental, deve-se ter consciência que nenhum processo tecnológico tem custo ambiental nulo, porém, quando se compara este tipo de fonte de energia com a geração de energia através de combustíveis fósseis, conclui-se que a deterioração ambiental, deste modo de produção de energia, será muito reduzida.

A emissão nula de CO₂ desta tecnologia, durante sua vida útil de funcionamento que varia de 20 a 25 anos, é de grande vantagem. De acordo com o Ministério da Ciência e da Tecnologia, a emissão de dióxido de carbono por queima de combustíveis para produção de energia elétrica em uma central termoeletrica de carvão mineral, que possui eficiência de 37% de ciclo simples, é de 340g CO₂/kWh (Pinto, 2016).

Para calcular a quantidade de CO₂ emitido durante a construção dos módulos policristalinos de Silício, considerou-se que foi gasto uma quantidade de 3.900 MJ/m² com eficiência de conversão de 35% e o coeficiente de CO₂ médio equivalente de geração de eletricidade do EUA, que é o local de fabricação dos

módulos, de 0,564 kg CO₂ eq./kWh. (Pinto, 2016). Este cálculo resultou em 82,5 toneladas de CO₂ emitidos para a construção dos 342 módulos.

Considerando a unidade geradora fotovoltaica desse projeto, a produção anual de energia é de 160.933kWh, em 25 anos de vida útil da unidade haveria uma produção de 4,02 GWh. Caso a unidade produzisse gás carbônico na mesma taxa de emissão de uma central a carvão mineral haveria uma produção de 1.367 toneladas de dióxido de carbono durante a vida útil do sistema, que neste caso deixaria de ser emitido para a atmosfera.

A emissão que deixa de ser lançada no ar, neste caso de estudo, é pequena devido a potência total do sistema ser baixa, porém ao considerar que a tendência mundial é de substituir o uso de energia fóssil por energia renovável, entre elas a solar, haveria uma grande redução da emissão em escala global.

7. Conclusão

As discussões das melhorias na legislação que rege as resoluções da geração distribuída tiveram grande auxílio na validação de projetos das fazendas solares. Ainda, a aprovação da permissão de geração compartilhada mostra o surgimento de novas tendências que possibilitam aos novos empreendedores do ramo de energias renováveis ampliarem o cenário de geração de energia com preços mais atrativos no valor cobrado pelo consumo de energia elétrica.

Foi apresentado o modelo de negócio da fazenda solar e-Farm, que possui 38 cotas de potência para serem alugadas, num valor abaixo do cobrado atualmente pela concessionária de energia local. Com base no que foi discutido, a e-Farm se mostrou viável tanto do ponto de vista técnico, econômico e sócio-ambiental.

Espera-se que estes tipos de empreendimentos que ainda estão pouco difundidos se tornem um nicho de mercado a ser explorado, auxiliando as concessionárias no atendimento da demanda energética, e também para o cliente final que pode pagar menos na sua conta de energia. Além disso, reduzindo a emissão de dióxido de carbono.

Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) (ANEEL) SRD - publicado: 28/09/2015 10:48, última modificação: 15/08/2018 14:11. <<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 25 jun 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) (ANEEL). Banco de Informações de Geração: BIG. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)> Acesso em: 31 junho 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Prodist – Módulo-3. <<http://www.aneel.gov.br/modulo-3>>. Acesso em 31 junho 2019.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2019. Relatório Síntese/Ano base 2018. Empresa de Pesquisa Energética.

BLUESOL ENERGIA SOLAR. 2019. <<https://blog.bluesol.com.br/resolucao-482-da-aneel-guia-completo/>>. Acesso em: 25 jun 2019.

CADERNO ODS 7. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – Ipea 2019. <www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id>. Acesso em 31 junho 2019.

GERAÇÃO COMPARTILHADA – NÚMEROS DA ANEEL <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_modalidade.asp>. Acesso em: 25 jun 2019.

GERAÇÃO COMPARTILHADA – NÚMEROS DA ANEEL. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_modalidade.asp>. Acesso em: 25 jun 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Resenha Energética Brasileira, 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/3__Resenha_Energética/1>. Acesso em: 25 jun 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Fonte solar será responsável por 7 mil MW na matriz elétrica até 2024. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>> Acesso em: 25 jun 2019.

NORMA TÉCNICA COPEL – 905200. Fornecimento em tensão primária de distribuição.

PINTO, M. A. Balanço e Payback Time de Carbono de um Sistema Fotovoltaico – Planta Solar de Jaíba. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Brasília, 2016.

Valentin Software, PV*Sol.

ANEXO I - FORMULÁRIO DE IDENTIFICAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA.

De acordo com a NTC 905200 da COPEL, o acessante deve solicitar o acesso à rede elétrica por meio do formulário a seguir.

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC	
Código da UC:	Classe:
Titular da UC:	
Rua/Av.:	Nº: CEP:
Bairro:	Cidade:
E-mail:	
Telefone:	Celular:
CNPJ/CPF:	
2- Dados da Unidade Consumidora	
Carga instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):
Tipo de conexão: monofásica bifásica trifásica	
3 - Dados da Geração	
Potência instalada de geração (kW):	
Tipo da Fonte de Geração:	
Hidráulica Solar Eólica Biomassa Cogeração Qualificada	
Outra (especificar):	
4 - Documentação a Ser Anexada	
<ol style="list-style-type: none"> 1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração 2. Diagrama unifilar contemplando Geração/Proteção(inversor, se for o caso)/Medição e memorial descritivo da instalação. 3. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede. 4. Dados necessários para registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg 5. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012 6. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver) 7. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver) 	
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)	
Responsável/Área:	
Endereço:	
Telefone:	
E-mail:	
6 - Solicitante	
Nome/Procurador Legal:	
Telefone:	
E-mail:	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end;"> <div>_____</div> <div>_____/_____/_____</div> <div>_____</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end;"> <div>Local</div> <div>Data</div> <div>Assinatura do Responsável</div> </div>	

Figura 8. Formulário de identificação da Unidade Consumidora.

ANEXO III – DIAGRAMA UNIFILAR DE ACESSO A MICROGERAÇÃO 34,5 kV – COPEL.

De acordo com a NTC 905200 da COPEL, o acesso a microgeração em tensão de 34,5 na faixa de potência entre 75 a 300 kW com o uso de inversor devem seguir os padrões indicados abaixo.

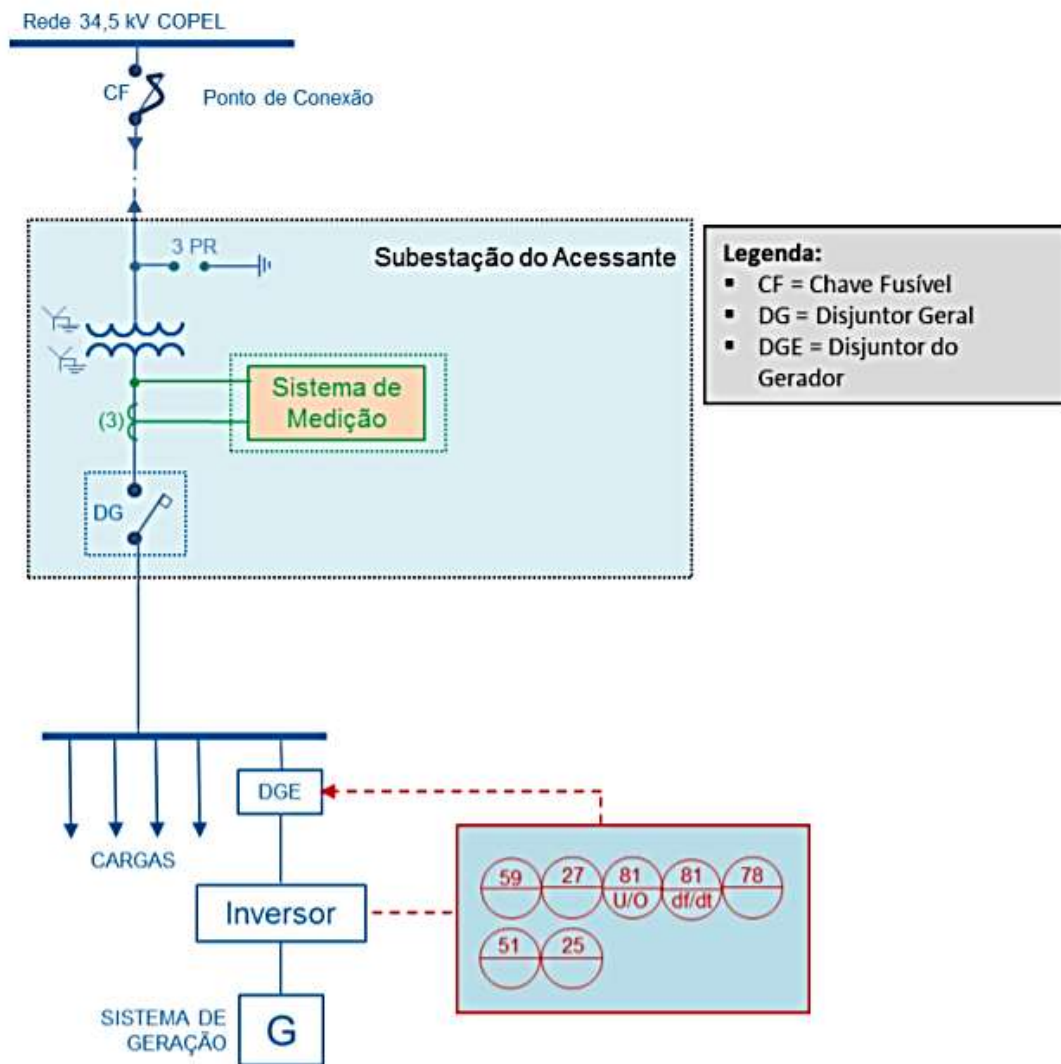


Figura 10: Minigeração em 34,5 kV – acima de 75 kW até 300 kW – Geração com o uso de inversores.

ANEXO IV – SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DA e-FARM NO PV*Sol.

1. Sistema fv conectado à rede

Dados climáticos	Palmas, BRA (1981 - 1990)
Potência do gerador fotovoltaico	110,5 kWp
Area do gerador fotovoltaico	648,0 m ²
Quantidade de módulos	325
Quantidade de inversores	2

2. Rendimento

Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	160.933 kWh
Injeção na rede	160.933 kWh
Limitação no ponto de injeção	0 kWh
Autoconsumo	0,0 %
Fração solar	0,0 %
Rendimento anual específico	1.456,41 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	82,9 %
Emissões de CO ₂ evitadas	96.560 kg/ano

3. Análise financeira

Investimento total	320.000,00 R\$
Taxa interna de retorno	21 %
Custos de geração da energia	0,1 R\$/kWh
Balanco / Conceito de injeção	Injeção total

4. Dados do sistema

Tipo de sistema	Sistema fv conectado à rede
Início da operação	22/07/2019

5. Dados climáticos

Local	Palmas, BRA (1981 - 1990)
-------	---------------------------

6. Áreas do módulo

Nome	Área do módulo 1
Módulos fotovoltaicos	325 x RSM144-6-340P (Cópia)
Fabricante	Risen Energy
Inclinação	22 °
Orientação	Norte 0 °
Situação de montagem	Montagem elevada - espaço livre
Area do gerador fotovoltaico	648,0 m ²

7. Configuração do inversor

Inversor 1	
Fabricante	Renovigi
Modelo	Reno 50 e Reno 60
Quantidade	2
Fator dimensionamento	100,5 %
Configuração	PMP 1: 12 x 16 PMP 2: 7 x 19

10. Análise financeira

Injeção na rede no primeiro ano (incl. depreciação do módulo)	160.933 kWh/Ano
Potência do gerador fotovoltaico	110,5 kWp
Início da operação do sistema	22/07/2019
Prazo do projeto	25 Anos
Juro do capital	0 %
Taxa interna de retorno	21 %
Fluxo de caixa acumulado	16.394.224,91 R\$
Custos de investimento	320.000,00 R\$
Custos anuais	1.600,00 R\$/Ano
Remuneração total no primeiro ano	327.997,43 R\$/Ano
Tarifa de injeção específica	0,708 R\$/kWh
Tarifa de injeção	117.042,63 R\$/Ano
Inflação da tarifa de injeção	6,00 %/Ano
Tarifa de injeção específica	0,7406 R\$/kWh
Tarifa de injeção	122.441,52 R\$/Ano
Inflação da tarifa de injeção	6,00 %/Ano
Tarifa de geração específica	0,55 R\$/kWh
Tarifa de geração	88.513,28 R\$/Ano

11. Diagrama do circuito

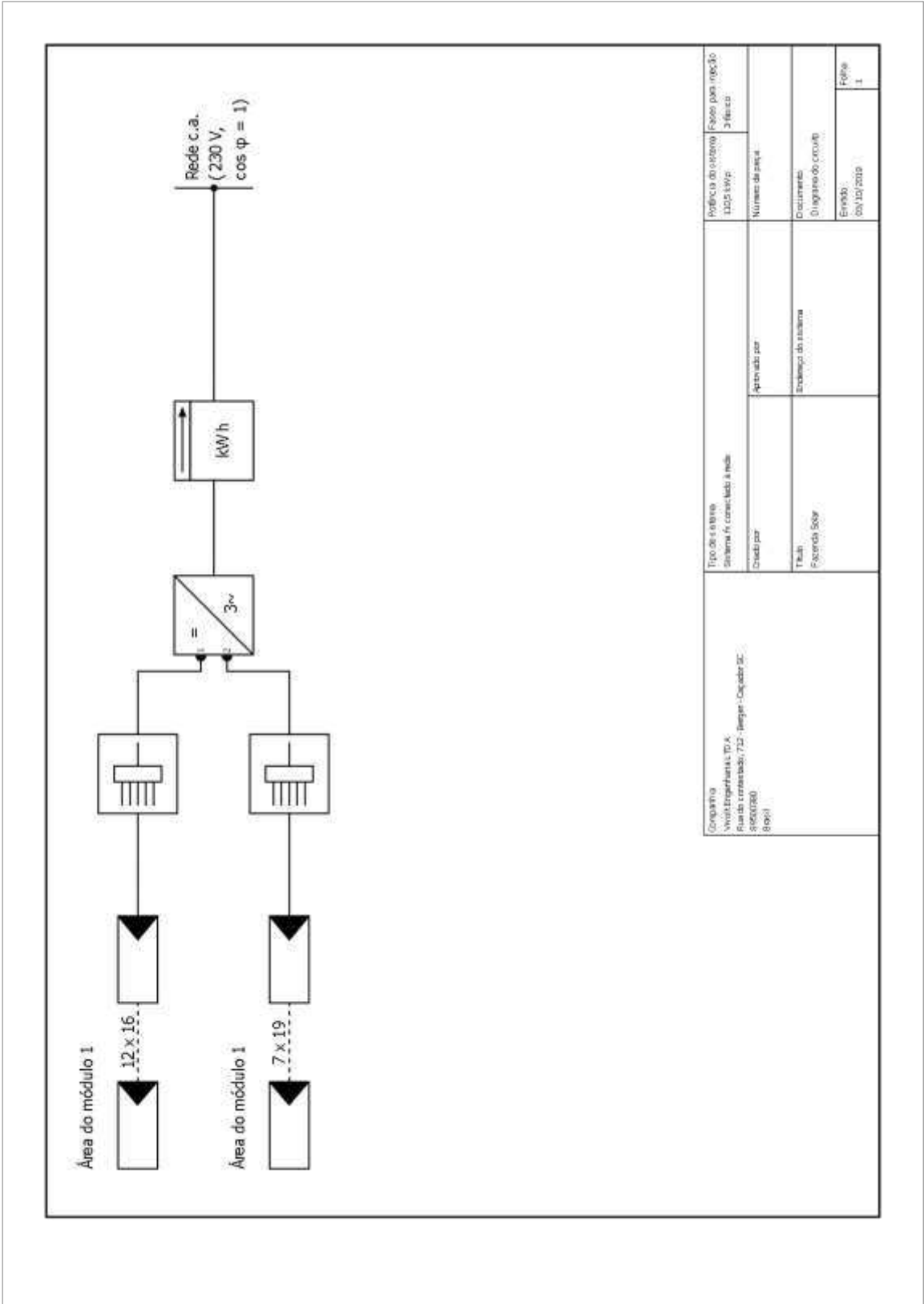


Figura 12: Diagrama do circuito.

ANEXO V – MODELO CANVAS DE IDEACÃO.

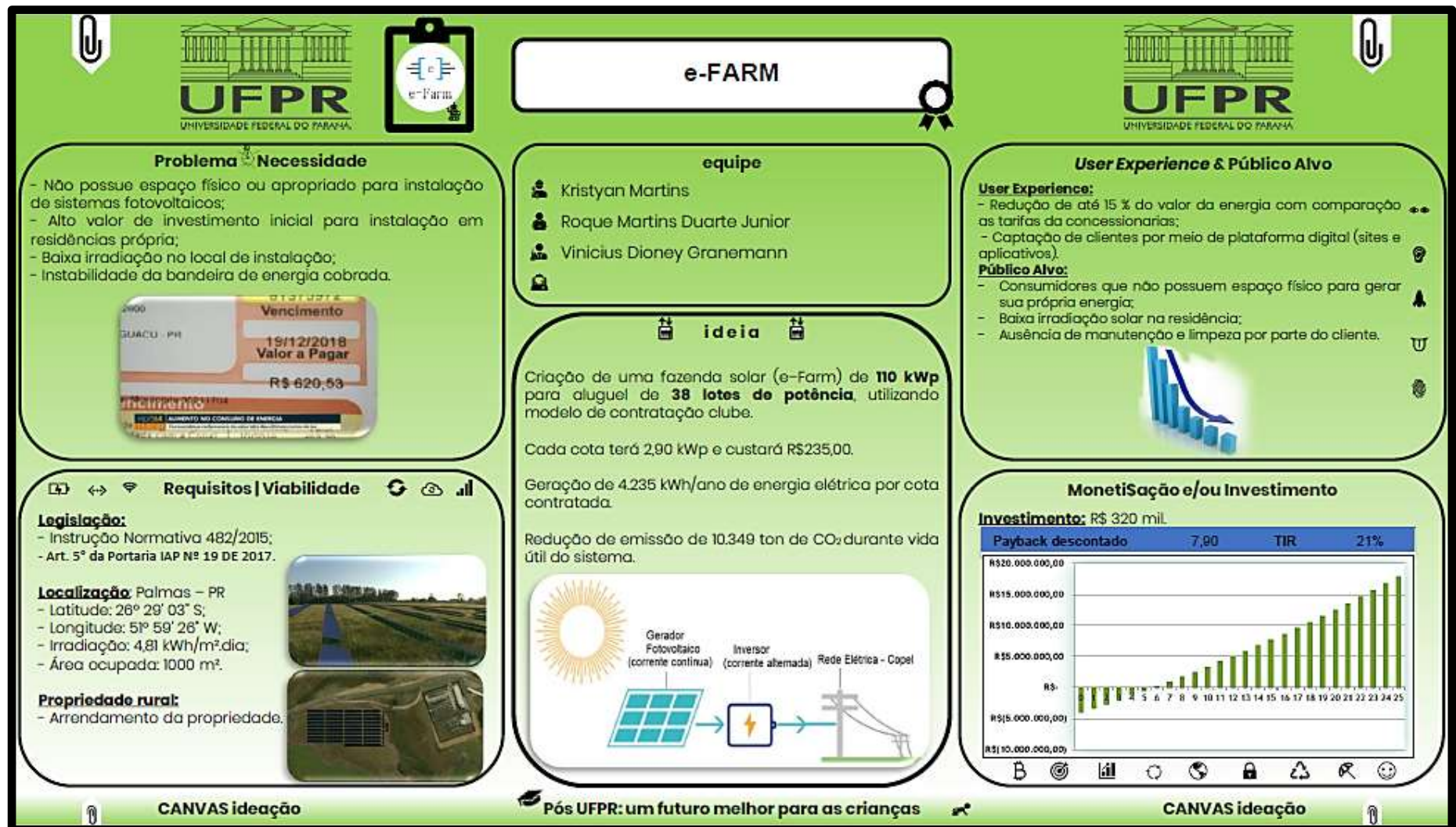


Figura 13 Modelo Canvas de Ideação – e-Farm – Fazenda Sola